

PENINGKATAN KETANGGUHAN IMPAK DAN FRAKTOGRAFI DARI LAJU RAMBAT RETAK FATIK DI LINGKUNGAN KOROSIF PADA BAJA DENGAN SAMBUNGAN LAS SAW SETELAH MENGALAMI FLAME HEATING

Jarot Wijayanto
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri
Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta
Jl. Kalisahak No. 28 Balapan Yogyakarta 55222
: j_wijayanto @ yahoo.co.id

ABSTRACT

Submerged arc welding is a welding process which is widely used in machines or structure such as bridge and offshore structures since it has a high reliability. One of the problems of this welding process is the formation of residual stress in weld and its adjacent area which causes fatigue failure. The 10 mm thick ASTM A572 Grade 50 Steel plate was welded by submerged arc welding process. Post weld heat treatment (PWHT) using oxy-acetylene flame heating was located at distance of 3,75 mm symmetrically from center of weld with some variation of temperature namely 100 °C ; 200 °C ; 300 °C and 400 °C. Fatigue test use specimen middle tension (MTS) on sea water with 11 Hz frequency at $R = 0,1$. A sequence of test were carried out including impact toughness and SEM observation on the microstructures .

The results show that optimum result is achieved at flame heating temperature of 300 °C where corrosion fatigue life is 2.771.147 with increase fatigue life of 255,04 %. The values A and n of Paris Equation are 2,000 E-13 and 3,801 respectively. Toughnes impact is lower at specimen treated with flame heating temperature of 100 °C that is 112,3 Joule to whereas the specimen which was not heat treated has toughnes impact is 85,7 Joule. The specimen not heat treated have groove cleave fracture to whereas the specimen T300 as much area is dimple fracture type.

Key word : flame heating, ASTM, fatigue crack, impact, cleave fracture.

INTI SARI

Las Submerged Arc Welding merupakan salah satu proses pengelasan dalam pembuatan mesin, struktur jembatan dan bangunan lepas pantai karena memiliki kehandalan dan efisiensi tinggi. Kelemahan proses pengelasan ini adalah adanya tegangan sisa, dan jika beban dinamis serta kondisi operasi berada di lingkungan korosif dapat menyebabkan kegagalan berupa fatik korosi. Proses pengelasan baja ASTM A572 Grade 50 dengan ketebalan 10 mm menggunakan las busur rendam. Pemanasan pasca pengelasan dilakukan dengan nyala api oksidasi asetelin pada jarak 3,75 mm simetri pusat las dengan vareasi temperatur 100 °C, 200 °C, 300 °C dan 400 °C. Pengujian fatik korosi menggunakan specimen middle tension (MTS) dilakukan di lingkungan air laut dengan frekuensi 11 Hz pada $R=0,1$. Sebagai data pendukung dilakukan uji ketangguhan impak dan SEM untuk analisis data.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan flame heating dengan temperatur 300 °C menghasilkan nilai optimum untuk siklus fatik korosi yaitu sebesar 2.771.147 siklus dengan peningkatan umur fatik 255 % lebih tinggi dari material tanpa perlakuan. Nilai A dan n dari persamaan Paris di hasilkan 2,000 E-13 dan 3,801. Ketangguhan impak paling tinggi terjadi pada spesimen yang menggunakan flame heating dengan temperatur 100 °C yaitu sebesar 112,3 Joule dibandingkan dengan spesimen tanpa perlakuan panas pasca pengelasan yang memiliki ketangguhan impak 85,7Joule. Sedangkan pada spesimen tanpa perlakuan panas alur penampang patahan relatif agak kasar dan rata (cleavage fracture) dibandingkan dengan spesimen T300 pada daerah yang sama, yaitu dengan bentuk penampang cekungan-cekungan kecil (dimple)

Kata kunci : flame heating, ASTM, retak fatik, impak, cleavage fracture

PENDAHULUAN

Pada lasan konstruksi bebas akan terjadi tegangan tarik arah memanjang pada sekitar garis las dan tegangan tekan pada

jarak yang sedikit lebih jauh lagi yang seimbang antara satu sama lainnya, hal ini yang menyebabkan terjadinya tegangan sisa (Wirjosumarto dan Okumura,1996).

Tegangan sisa adalah salah satu faktor yang utama berpengaruh terhadap *fatigue strength* selain konsentrasi tegangan, sifat mekanik bahan, dan struktur mikro dan makro. Oleh karena itu pada konstruksi las tegangan sisa perlu dikontrol dan direduksi sebelum ataupun setelah pengelasan untuk kesempurnaan konstruksi las (Mochizuki, 2006). Pengaruh kombinasi dari tegangan sisa, beban berulang dan korosi dapat menyebabkan perpatahan lelah (*fatigue failure*).

Untuk mempertahankan integritas struktur yang dibangun dengan cara pengelasan, pengurangan tegangan sisa merupakan cara yang efektif untuk meningkatkan sifat fatik dan ketahanan korosinya. Penelitian yang berkaitan dengan korosi fatik telah banyak dilakukan diantaranya adalah :

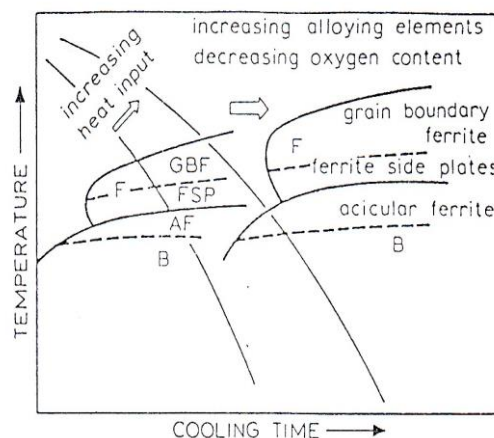
Magnin (1995) melaporkan paduan Fe-Mn-Cr dengan struktur fcc yang mengalami deformasi pada siklus laju regangan rendah dalam larutan klorida. Pada permukaan patahan, retak berawal dari lubang (mendukung terjadinya fatik) yang disebabkan oleh SCC (*stress corrosion cracking*).

Wahab (2001) melakukan pengamatan kelakuan korosi fatik pada pengelasan konstruksi baja. Prosentase keaktifan lingkungan dapat merubah bentuk laju perambatan retak dan faktor intensitas tegangan (da/dN vs ΔK). Dari data percobaan harga konstanta Paris ekponensial m sebesar 2,47 untuk udara sedangkan di air garam sebesar 3,20. Kemudian harga C untuk udara 1.35×10^{-11} mm/siklus dan untuk lingkungan garam berkisar 2.25×10^{-12} mm/siklus.

Iswahyudi (2007) melaporkan perubahan sifat fatik logam las setelah perlakuan panas menggunakan nyala api oksidasi asetelin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai tegangan sisa yang rendah dapat memperbaiki sifat fatik dan pada pemanasan pada jarak 37,5 mm simetri terhadap garis las memberikan peningkatan sebesar 147%, paling tinggi jika dibandingkan dengan perlakuan lainnya

FUNDAMENTAL Siklus Termal Las

Proses pengelasan akan mengakibatkan logam di sekitar lasan mengalami siklus termal cepat yang menyebabkan terjadinya perubahan-perubahan metalurgi yang rumit, deformasi dan tegangan-tegangan termal. Hal ini sangat erat hubungannya dengan ketangguhan, cacat las, retak dan lain sebagainya yang pada umumnya mempunyai pengaruh yang fatal terhadap keamanan dan konstruksi yang di las. Siklus termal merupakan proses pemanasan dan pendinginan di daerah lasan. Lamanya pendinginan dalam suatu daerah temperatur tertentu dari suatu siklus termal las sangat mempengaruhi kualitas sambungan. Skema yang menggambarkan kondisi relatif fasa logam las dan struktur mikro dapat diamati pada Gambar 1. Banyak sekali usaha pendekatan untuk menentukan laju pendinginan logam las untuk mengetahui struktur mikro yang terjadi. Struktur mikro logam las paduan dipengaruhi oleh masukan panas (*heat input*) dan kandungan oksigen dalam logam las (Horrison dan Farrar, 1989).



Gambar 1. Skema yang menggambarkan struktur mikro untuk logam las (Horrison dan Farrar, 1989)

Struktur mikro yang mungkin terjadi di logam las adalah ferit batas butir (*grain boundary ferrite* atau α) yang terbentuk pertama kali pada transformasi γ menjadi α sepanjang batas butir austenit dari temperatur 1000 °C hingga 650 °C, Widmanstättent *ferrite* (α_w) yang tumbuh pada temperatur 750 °C hingga 650 °C pada arah dalam butir disepanjang batas butir austenit, *acicular ferrite* (α_a) yang biasanya terbentuk pada temperatur 650 °C di dalam butir dengan orientasi acak. Bainit (B) yang merupakan ferit terbentuk pelat dengan Fe₃C diantara pelat-pelat tersebut dan martensit (M) yang terbentuk jika terjadi proses pendinginan sangat cepat dan terdapat kandungan karbon (C) yang cukup.

Tegangan Sisa

Selama proses pengelasan, pada bagian yang dilas menerima panas pengelasan setempat dan selama proses berjalan temperturnya berubah terus sehingga distribusi temperturnya tidak merata. Karena panas tersebut, maka bagian yang dilas terjadi pengembangan termal sedangkan bagian yang dingin tidak berubah sehingga terbantu pengalangan pengembangan yang mengakibatkan tegangan sisa (*residual stress*) dan distorsi (*distorsion*). Tegangan sisa bisa menyebabkan pengetasan, berkurangnya

ketahanan lelah, menurunnya ketangguhan las dan ketahanan korosi.

Rambat Retak Fatik Bahan

Rambat retak fatik dapat didekati dengan persamaan Paris (Broek, 1987) untuk spesimen dengan bentuk *middle tension* (MTS) sebagai berikut :

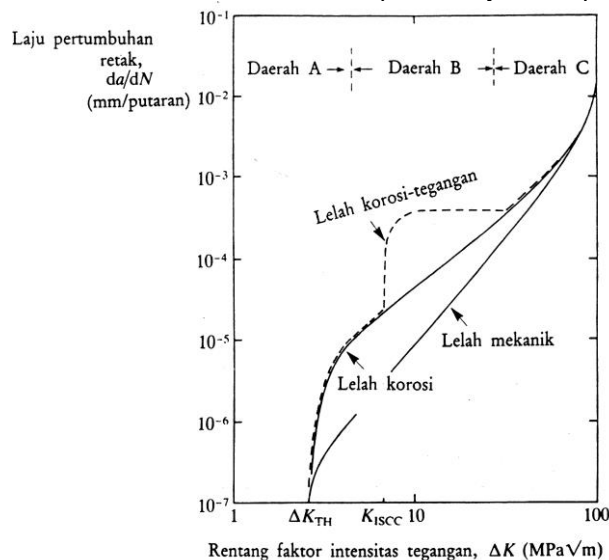
$$\frac{da}{dN} = A\Delta K^n \dots\dots\dots(1)$$

$$\Delta K = \frac{\Delta P}{B} \sqrt{\frac{\pi\alpha}{2W}} \text{Sec} \frac{\pi\alpha}{2} \dots(2)$$

Dimana :

- A dan n = konstanta Paris,
- ΔK = beda faktor intensitas tegangan,
- P = beban,
- W = lebar spesimen,
- B = tebal spesimen

Korosi fatik adalah fatik yang terjadi dilindungi korosif (reaksi sebagai akibat dari adanya sel konsentrasi dari ion logam atau adanya proses galvanic) seperti air garam. Korosi fatik terjadi bila ada beban berulang dan lingkungan yang bersifat korosif. Batas kelelahan material tergantung dari kondisi pemakaian, batas ketahanan kelelahan akan semakin menurun jika berada pada kondisi lingkungan yang memiliki kadar ion klorida cukup tinggi seperti air laut yang temperturnya cukup tinggi.



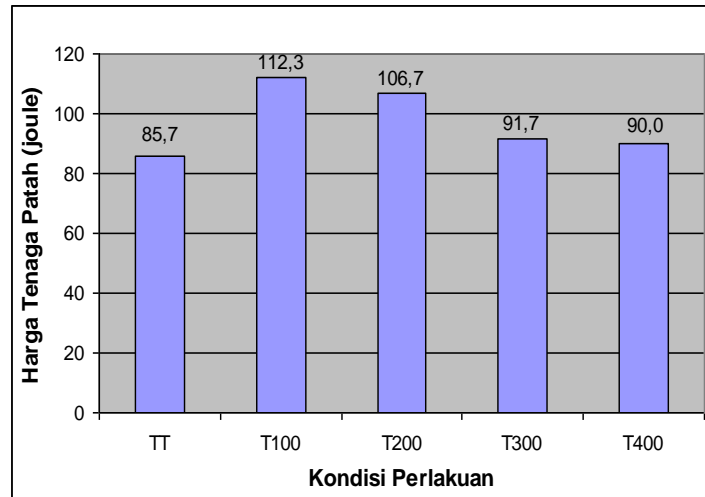
Gambar 2. Karakteristik umum kurva korosi fatik (Trethewey,1991)

Gambar 2. memperlihatkan karakteristik fatik mekanik dan korosi fatik yang terjadi pada baja paduan rendah baik di lingkungan lembab maupun di lingkungan natrium klorida berair. Tingkat

ambang batas korosi fatik (ΔK_{TH}) dapat dijadikan sebagai parameter untuk perancangan walaupun tidak dapat diandalkan. Kebanyakan logam yang digunakan untuk struktur, ambang batas

bisa mencapai 2 MPa√m. Faktor yang paling mempengaruhi tingkat ambang batas adalah lingkungan bisa menyebabkan pemicuan retak atau tidak. Pada baja yang dilas, disitulah terdapat cacat yang cukup untuk proses pemicuan. Korosi fatik dapat terjadi pada tingkat-tingkat tegangan jauh lebih rendah dari tingkat-tingkat untuk SCC.

Gambar 3. memperlihatkan ketangguhan patah sambungan las untuk tanpa perlakuan dan berbagai kondisi perlakuan *flame stress relieving*. Harrison dan Farrar, 1989 menyatakan bahwa pada logam las feritik tingginya tingkat ketangguhan dapat tergantung dari struktur mikro logam las yang berisikan besarnya fase *accicular ferrite*.



Gambar 3. Ketangguhan patah sambungan las pada berbagai specimen

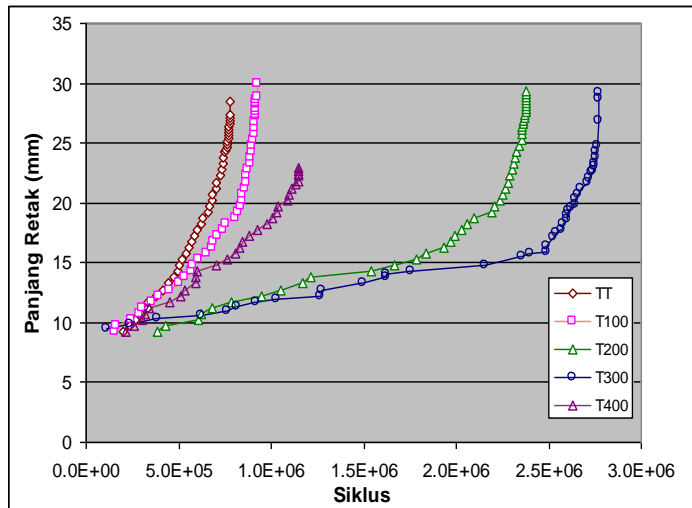
Gambar 3. memperlihatkan ketangguhan patah sambungan las untuk tanpa perlakuan dan berbagai kondisi perlakuan *flame stress relieving*. Harrison dan Farrar, 1989 menyatakan bahwa pada logam las feritik tingginya tingkat ketangguhan dapat tergantung dari struktur mikro logam las yang berisikan besarnya fase *accicular ferrite*. Pada pengelasan mungkin terjadi penambahan % *accicular ferrite* dan terjadi penurunan % batas butir ferit dan *ferrite sideplates*. Hal ini terjadi disebabkan reduksi dari masukan panas, penambahan paduan logam las yang akhirnya meningkatkan ketangguhan. Ketangguhan patah mengalami perubahan setelah terjadi *flame stress relieving*. Specimen TT memiliki ketangguhan patah terendah sebesar 85,7 joule. Kondisi perlakuan dengan pemberian temperatur 100 °C menghasilkan harga tenaga patah tertinggi yaitu 112,3 Joule, temperatur *flame* semakin menurun menyebabkan penurunan harga tenaga patah. Hal ini konsisten dengan pengujian tarik, dimana kekuatan tarik menurun ketika terjadi adanya kenaikan temperatur *flame stress relieving*.

PEMBAHASAN

Uji Ketangguhan Impak

Laju Rambat Retak Fatik Korosi

Pengujian fatik korosi menunjukkan efek yang berbeda terhadap masing-masing perlakuan *flame stress relieving* di lingkungan air laut. Gambar 4. memperlihatkan kurva penambahan panjang *a* sebagai fungsi dari siklus *N*. Dari Gambar 4. terlihat bahwa las tanpa perlakuan mempunyai umur fatik korosi sekitar 780.514 siklus. Umur fatik korosi dengan perlakuan temperatur 100 °C hampir sama dengan tanpa perlakuan yaitu sebesar 923.556 siklus, akan tetapi pada perlakuan panas dengan temperatur 300 °C terjadi peningkatan umur fatik korosi yang sangat signifikan 255,04 % dengan jumlah siklus 2.771.147 siklus. Sedangkan pada temperatur 400 °C mengalami penurunan kembali sebesar 1.151.850 siklus, akan tetapi nilai ini masih lebih tinggi dari pada las tanpa perlakuan. Hal ini disebabkan karena pada temperatur 300 °C, pemanasan menyebabkan terjadinya tegangan termal maksimal yang besarnya mendekati tegangan luluh las sehingga tegangan ini melawan tegangan sisa yang dihasilkan oleh proses pengelasan dan sebagai akibat terjadinya proses pengelasan dan sebagai akibat terjadinya pembebasan tegangan sisa yang maksimal.



Gambar 4. Grafik hubungan panjang retak dengan jumlah siklus

Grafik yang menunjukkan hubungan antara perambatan retak dan ΔK dalam skala log ini diperoleh dengan metode secant.

Rekapitulasi data ΔK dan da/dN untuk seluruh specimen terlihat pada Gambar 5.

Tabel 1. Harga A dan n pada persamaan Paris

o	Specimen	Harga A (m/siklus)	Harga n
	TT	1,38 4E-10	1 ,864
	T100	2,17 6E-11	2 ,386
	T200	3,74 1E-12	2 ,672
	T300	1,55 3E-13	3 ,801
	T400	3,30 5E-11	2 ,227

Tabel 1. menunjukkan nilai A dan n yang didapatkan dari *trendline* pada daerah stabil, nilai A di dapatkan pada $\Delta K = 1$. Pada tabel tersebut diketahui bahwa nilai A dari specimen TT adalah $1.000E-10$ m/siklus. Nilai A turun untuk T100 yaitu sebesar $2.000E-11$ m/siklus sampai pada specimen T200 dengan nilai A sebesar $3.741E-12$ m/siklus dan mencapai terendah di specimen T300 dengan nilai laju perambatan retak sebesar $2.000E-13$ m/siklus. Nilai ini menunjukkan bahwa perambatan retak fatik korosi pada T300 berjalan sangat lambat pada ΔK kecil dibanding perlakuan yang lain. Sedangkan pada T400, nilai A mengalami kenaikan menjadi $3.000E-11$ m/siklus.

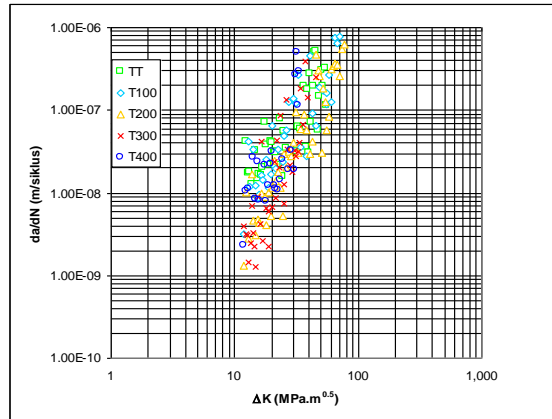
Untuk nilai n uji laju perambatan retak fatik korosi pada specimen TT adalah 1,864. Nilai ini terus mengalami peningkatan untuk specimen T100, T200 dan T300 yaitu

sebesar 2,386; 2,672; dan 3,801. Nilai n kemudian turun pada specimen T400 dengan nilai n sebesar 2,226. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada ΔK tinggi, ketahanan terhadap rambatan retak fatik spesimen T300 paling baik.

Ismail (2007) meneliti rambat retak fatik di udara terhadap hasil PWHT pada bahan yang sama dengan penelitian ini di lingkungan udara. Hasilnya menunjukkan bahwa pada perlakuan pemanasan dengan temperatur 300 °C memiliki siklus yang baik (lama). Dari pernyataan ini setelah dibandingkan dengan penelitian untuk laju perambatan retak fatik korosi, dapat disimpulkan bahwa pembebasan tegangan sisa dengan *flame heating* dengan temperatur 300 °C adalah hasil yang paling optimal. Magnin (1995) mempelajari korosi fatik, kesimpulan dari penelitiannya

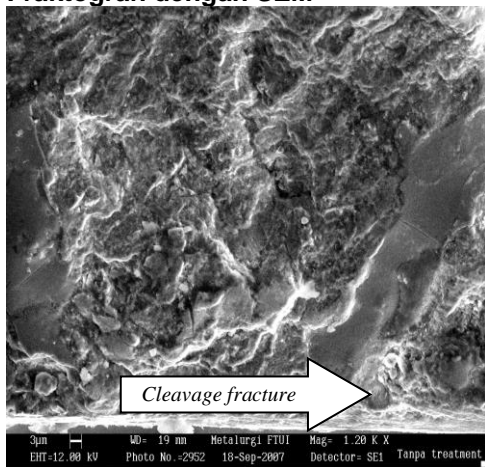
menunjukkan bahwa mekanisme korosi fatik disebabkan oleh penggetasan hidrogen dan pengaruh anodik (larutan :komposisi, PH,

jenis dan produk korosi yang dihasilkan) untuk membuka retakan baru yang dipicu oleh beban berulang.

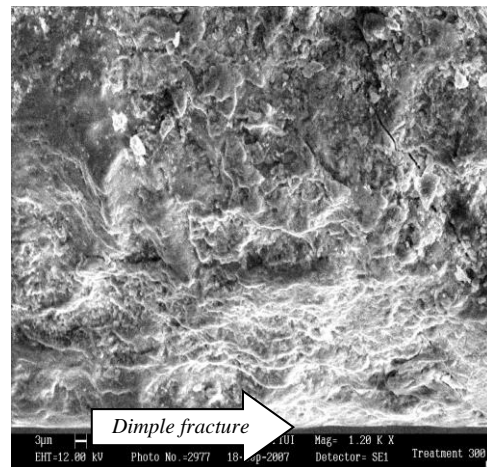


Gambar 5. Rekapitulasi keseluruhan data uji fatik korosi

Fraktografi dengan SEM



(a)



(b)

Gambar 6. Fraktografi dari specimen uji fatik korosi ; (a) TT dan (b) T300

Pada pengujian fatik telah didapatkan bahwa specimen yang memiliki umur fatik korosi optimum adalah specimen T300. Selanjutnya dilakukan pengamatan bentuk perpatahan yang terjadi dengan SEM (*scanning electron microscope*) dibandingkan dengan bentuk patahan pada specimen TT. Gambar 6.(a) dan (b) menunjukkan permukaan patah yang berbeda.

Pada specimen TT alur penampang patahan pada daerah II (stabil) relatif agak kasar dan rata (*cleavage fracture*) dibandingkan dengan specimen T300 pada daerah yang sama, yaitu dengan bentuk penampang cekungan-cekungan kecil (*dimple*). Hal ini menunjukkan bahwa specimen TT mengalami patahan yang lebih getas akibat ketidakmampuan struktur dalam

menahan perambatan retak fatik dari beban dinamik ditambah dengan adanya larutan klorida yang memicu penggetasan dalam mempercepat perambatan retak.

KESIMPULAN

1. Pada hasil pengujian mekanis untuk specimen T300 memiliki nilai ketangguhan impact atau tenaga patah 91,7 Joule dan terendah pada specimen tanpa perlakuan panas pasca pengelasan sebesar 85,7 Joule.

2. Pembebasan tegangan sisa dengan *flame heating* dengan temperatur 300 °C adalah hasil yang paling baik untuk siklus fatik korosinya yaitu sebesar 2.771.147 siklus dengan peningkatan umur fatik sebesar 255,04% dibandingkan kondisi tanpa perlakuan. Laju perambatan retak fatik

ditentukan oleh nilai konstanta Paris, yaitu nilai A dan n . Untuk temperatur 300 °C memiliki nilai A dan n masing-masing sebesar 2,000 E-13 dan 3,801.

3. Spesimen TT mengalami patahan yang lebih getas bentuk alur patahan *cleavage fracture*. Sedangkan pada spesimen T300 lebih ulet yang dapat di cermati dari penampang patahan dengan bentuk patahan *dimple* /cekungan-cekungan kecil.

DAFTAR PUSTAKA

- Althouse,dkk.,1984, "Modern Welding", Goodheart-Willcox Company, Illinois.
- ASTM.,2003, Metal Test Methods and Analytical Procedures,Annual Book of ASTM Standard, Sec. 3, Vol. 03.01, E647-00, pp.615-657, Bar Harbor Drive, West Conshohocken.
- Bhadeshia, H. K. D. H.,2004, "Reability of Welding Microstructure and Property Calculations" Welding Journal, 237-243-s.
- Cormer,A.,Looney,L.,2006, Corrosion and Fatigue Characteristics of Positively Polarised Zeron 100 base & Weld Metal in Synthetic Seawater, International Journal of Fatigue 28 (2006) 826-834.
- Calister, W.D. 1994 "Material Science and Engineering : An Introduction" 3rd Edition, 267-364, John Willey and Sons, Inc.,New York.
- Fontana,Mars.G.,1978, Corrosion Engineering, McGraw-Hill, Inc.
- Kitsunai, Y. , Tanaka, M. dan Yoshihisa, E.,1998, Influence of Residual Stress and Loading Frequencies on Corrosion Fatigue Crack Growth Behavior of Weldments, Metallurgical and Materials Transactions A, vol.29A, 1289-1297.
- Ismail, R.,Purwaningrum, Y.,Ilman M. N.,2007, " Aplikasi pemanasan Nyala Api Oksi-Asetelin untuk Perlakuan Panas Stress Relief Guna Meningkatkan Ketahanan Laju Perambatan Retak Fatik Sambungan Las Busur Rendam pada Baja HSA", Journal SENAMM 1-2007, 23-35.
- Iswahyudi.,2007, "Pengaruh Jarak Flame dari Garis Las Terhadap Tegangan Sisa dan Laju Perambatan Retak Fatik Las Busur Rendam pada Pengelasan Baja ASTM A572 Grade 50". Tesis S2, UGM
- Kou,S.,1987, Welding Metallurgy, John Willey □ Sons, Inc., New York.
- Kalpakjian, S.,1992, Manufacturing Engineering and Technology, 2 ed,pp 843-853, Addison-Wesley Publishing Company Inc., USA.
- Lancaster, J.F.,1999, Metallurgy of Welding, Abington Publishing, Cambridge, UK.
- Lawrence, F.V.,1980, The Predicted Influence of Weld Residual Stress on Fatigue Crack Initiation, Proceedings of a Conference on : Residual Stress for Designers and Metallurgists, Chicago, Illinois, USA.
- Magnin, T.,1995, Recent Advances for Corroton Fatigue Mechanisms, ISIJ International, Vol. 35, No. 3, pp. 223-233.
- Messler, R. W., 1999, "Principles of Welding: Processes, Physics, Chemistry, and Metalurgy", pp. 43, 157, John Wiley & Sons Inc., Canada.
- McCowan,C.N.,Siewert,T.A.,Ricker,R.E.,200 2, Material, Welding and Corrosion, NIST Material Reliability Division, Boulder CO and NIST Metallurgy Division,Uthersburg MD.
- Mochizuki.,2006, Control of Welding Residual Stress for Ensuring Integrity Against Fatigue and Stress-Corrosion Cracking, Department of Manufacturing Science, Graduate School of Engineering, Osaka University,2-1, Yamada-oka, Suita, Osaka 565-0871, Japan.
- Rofle, S.T., Barsom, J.M.,1977, Fracture and Fatigue Control In Structure, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffts, New Jersey.
- Saarna, M., 2006, "Fatigue of Duplex Steels in Corrosive Environment", 5th International DAAAM Baltic Conference, Tallinn, Estonia.
- Strangwood. M., Bhadeshia, H. K. D. H, 1986, "Trends in Welding Research" in Proc. Conf . Gatlinburg, TN, American Society for Metals.
- Trethewey, K. R.,Chamberlain, J.,1991, "Korosi untuk Mahasiswa Sains dan Rekayasa", Gramedia Pustaka Utama PT, Jakarta.
- Wahab, M. A., Sakano, M.,2001, "Experimental Study of Corroton Fatigue Behaviour of Welded Steel Structures" Journal of Material Processing Technology 118, 117-122.
- Wiryosumarto,H.,Okumura, T.,2000, "Teknologi Pengelasan", PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Yang, J. R., Bhadeshia, H. K. D. H,1986, "Trends in Welding Research" in Proc. Conf . Gatlinburg, TN, American Society for Metals.